

**ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД УКООПСПІЛКИ
«ПОЛТАВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ»
ІНСТИТУТ ЕКОНОМІКИ, УПРАВЛІННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОНОМІКИ І МЕНЕДЖМЕНТУ
ФОРМА НАВЧАННЯ ДЕННА
КАФЕДРА МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА СОЦІАЛЬНОЇ
ІНФОРМАТИКИ**

Допускається до захисту

Завідувач кафедри _____ О.О. Ємець
(підпис)

«_____» _____ 2020 р.

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ**

на тему

**ОПТИМІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА СТОЛІВ:
ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТРЕНАЖЕРА (МОДЕЛЮВАННЯ)
ДИСТАНЦІЙНОГО КУРСУ «ПРОЕКТНЕ НАВЧАННЯ З КУРСУ «МЕТОДИ
ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙ»»**

зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки та інформаційні технології»

Виконавець роботи Мороз Артур Вадимович

_____ «__» _____ 2020р.
(підпис)

Науковий керівник докт. фіз.-мат. наук, проф. О. О. Ємець

_____ «__» _____ 2020р.
(підпис)

ПОЛТАВА 2020 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	5
1.1 Постановка задачі розробки тренажера.....	5
2 ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОГЛЯД.....	7
2.1 Огляд робіт, де розглянуте аналогічне до теми роботи завдання	7
2.2 Позитивні аспекти оглянутих робіт.....	7
2.3 Вади оглянутих робіт.....	8
2.4 Необхідність та актуальність теми роботи.....	8
3 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.....	9
3.1 Складання математичної моделі.....	9
3.2 Розв’язок задачі в «Розв’язувачі».....	10
3.3 Алгоритм роботи тренажера.....	14
3.4 Блок-схема програми-тренажера.....	22
4 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.....	24
4.1 Текст програми та її опис.....	24
4.2 Реалізація роботи тренажера	28
4.3 Перевірка валідності (тестування всіх процедур). Дослідження можливостей програмної реалізації	32
ВИСНОВКИ	40
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	41

ВСТУП

На сьогоднішній день електронне навчання використовується у багатьох країнах світу. Завдяки своїм перевагам, а саме, одночасного навчання великої кількості людей та навчання в будь-яких час, воно охоплює майже всі сфери людської діяльності.

Одним із засобів електронного навчання в закладах освіти є програмні тренажери. Саме вони є одним із найшвидших засобів набути потрібні навички на практиці.

До елементів електронного навчання відносять:

1. Самостійна робота з електронними матеріалами, з використанням комп'ютера, мобільного телефону тощо;
2. Отримання консультацій, порад, оцінок у віддаленого експерта та можливість дистанційної взаємодії;
3. Швидка цілодобова доставка електронних навчальних матеріалів;
4. Стандарти і специфікації на електронні навчальні матеріали та технології, дистанційні засоби навчання;
5. Формування та підвищення рівня інформаційної культури в усіх керівників підприємств та підрозділів групи і оволодіння ними сучасними інформаційними технологіями, підвищення ефективності своєї звичайної діяльності;
6. Освоєння і популяризація інноваційних педагогічних технологій, передача їх викладачам;
7. Можливість розвивати навчальні web-ресурси;
8. Можливість у будь-який час і будь-якому місці отримати сучасні знання;
9. Доступність вищої освіти особам з особливостями психофізичного розвитку.

Актуальність створення тренажера обумовлена тим, що його використання буде можливе в будь-якому місці та при наявності первинних даних (програми тренажеру, MS Excel).

Мета роботи – створити тренажер, який буде навчати студентів складати математичну модель задачі і знаходити рішення за допомогою прикладного пакету програм MS Office – MS Excel.

Об'єкт роботи – створення тренажеру для систем дистанційного навчання.

Предмет роботи – предметом розробки є програма-тренажер для навчання складання математичної моделі задачі та її розв'язування в надбудові «Розв'язувач» MS Excel.

Методи роботи – бакалаврську роботу було розроблено з використанням методу математичного моделювання для складання математичної моделі. Використання MS Excel для розв'язування оптимізаційних задач з використання надбудови «Розв'язувач». Для створення програмами використано мову програмування C++.

Структура пояснювальної записки до бакалаврської роботи:

- титульний аркуш;
- завдання на випускову кваліфікаційну бакалаврську роботу;
- реферат, що містить предмет, мету, методи, анотацію результатів ключові слова, словосполучення;
- зміст;
- перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів;
- вступ;
- суть роботи;
- висновки;
- рекомендації;
- список використаних джерел;
- додатки;

Обсяг пояснювальної записки: 41 стор., в т.ч. основна частина 39 стор., джерел - 6 назв.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Постановка задачі розробки тренажера

В бакалаврській роботі головною задачею є розробка тренажера з теми «Оптимізація виробництва столів: програмна реалізація тренажера (моделювання) дистанційного курсу «Проектне навчання з курсу «Методи оптимізації та дослідження операцій»»».

Даний тренажер буде створюватися у середовища програмування Microsoft Visual Studio, з використанням мови програмування C++.

Створення тренажера відбувається на конкретній задачі максимізації, побудови математичної моделі та її розв'язування в програмному пакеті MS Office - Excel «Розв'язувач». Це така задача. Оптимізація виробництва столів.

Підприємство виготовляє письмові столи типів А, В, С, D. Для одного столу типу А необхідно m^2 деревини, а для столу типу В - $3 m^2$, С - $2,5 m^2$, D - $2,7 m^2$. Підприємство може отримати до $600 m^2$ деревини за тиждень. Для виготовлення одного столу типу А потрібно 12 хв. роботи обладнання, а для моделі В - 30 хв., С - 25 хв., D - 20 хв. Обладнання може використовуватися 80 год. на тиждень. Оцінено, що за тиждень може бути реалізовано до 350 столів.

Відомо, що прибуток від реалізації одного письмового столу типу А становить 30 дол., а типу В - 40 дол., С - 35 дол., D - 37 дол. Скільки столів кожного типу необхідно виготовляти за тиждень? Визначити оптимальну, з точки зору максимізації прибутку, структуру виготовлення письмових столів різних типів.

Основними завданням, що впливає з задачі роботи є :

- Вибір мови програмування за для коректної роботи в дистанційному курсі.
- Складання алгоритму роботи програми «тренажеру» .

- Складання блок-схеми до алгоритму з врахуванням всіх можливих варіантів роботи.
- Програмна реалізація тренажеру.
- Перевірка та тестування програми на відповідність та правильність роботи.

Також, є необхідність розглянути вимоги, яким повинен відповідати тренажер.

Основні вимоги до програмного продукту:

1. Під час навчання студента, використовуючи тренажер, студент повинен постійно бачити умову задачі.
2. Під час кожного вибору відповіді або при введенні даних необхідно реалізувати механізм перевірки даних. У випадку помилки, виведення повідомлення про не вірну відповідь.

2 ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОГЛЯД

2.1 Огляд робіт, де розглянуте аналогічне до теми роботи завдання

В процесі написання бакалаврської роботи були розглянуті тренажери студентів, а саме тренажер на тему «Оптимізація перевезень сільгосппродукції: програмна реалізація тренажера (моделювання, розв'язування) дистанційного курсу «Проектне навчання з курсу «Методи оптимізації та дослідження операцій»»» (Кривошей О. С.) [5] та тренажер на тему «Метод потенціалів лінійної задачі про оптимальний потік» (Белінська В. В.) [6]. Зробив посилання

2.2 Позитивні аспекти оглянутих робіт

1. Наявність різних мов інтерфейсу: української, англійської та російської. (Белінська В. В.) [6].
2. Перехід до попередніх питань в будь-який момент (Кривошей О. С.) [5].
3. Тренажери виконані у вигляді десктопних програм, завдяки цьому вони дозволяють пройти тест без доступу до мережі інтернет.
4. Можливість введення з клавіатури.

2.3 Вади оглянутих робіт

1. Не має пояснення чи підказки при невірній відповіді.
2. При завершенні тестування не має можливості повторити його без виходу з програми.

2.4 Необхідність та актуальність теми роботи

Необхідність роботи полягає в тому, що створена програма-тренажер допоможе студентам підняти навички в розв'язуванні задач на оптимізації (на прикладі конкретної задачі максимізації) та їх в надбудові Microsoft Excel «Розв'язувач».

Актуальність створення тренажера обумовлена тим, що його використання можливе в будь якому місці та при наявності комп'ютера та первинних даних (програми тренажеру, MS Excel).

3 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Складання математичної моделі

Створення тренажера відбувається на конкретній задачі максимізації, побудови математичної моделі та її розв'язування в програмному пакеті MS Office - Excel «Розв'язувач». Це така задача. Оптимізація виробництва столів.

Підприємство виготовляє письмові столи типів А, В, С, D. Для одного столу типу А необхідно 2 м^2 деревини, а для столу типу В - 3 м^2 , С - $2,5 \text{ м}^2$, D - $2,7 \text{ м}^2$. Підприємство може отримати до 600 м^2 деревини за тиждень. Для виготовлення одного столу типу А потрібно 12 хв. роботи обладнання, а для моделі В - 30 хв., С - 25 хв., D - 20 хв. Обладнання може використовуватися 80 год. на тиждень. Оцінено, що за тиждень може бути реалізовано до 350 столів.

Відомо, що прибуток від реалізації одного письмового столу типу А становить 30 дол., а типу В - 40 дол., С - 35 дол., D - 37 дол. Скільки столів кожного типу необхідно виготовляти за тиждень? Визначити оптимальну, з точки зору максимізації прибутку, структуру виготовлення письмових столів різних типів.

Для складання математичної моделі, введемо невідомі, виходячи з умови задачі. Позначимо $X = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_k)$, де X – вектор кількостей виготовлених столів, x_i - кількість столів i – го типу.

Виходячи з максимізації сумарної вартості прибутку від реалізації, запишемо цільову функцію, як суму добутків прибутків зі штуки на x_i .

$$F(x) = 30x_1 + 40x_2 + 35x_3 + 37x_4 \rightarrow \max \quad (3.1)$$

Запишемо обмеження. Відомо, що за тиждень може бути реалізовано до 350 столів. Запишемо нерівність, яка це виражає: за тиждень не може бути виготовлено більш ніж 350 столів:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \leq 350 \quad (3.2)$$

Підприємство може отримати до 600 м^2 деревини за тиждень.

Запишемо це нерівністю: сумарна кількість витраченої деревини на виготовлення столів i – го типу, повинна бути не більш ніж 600 м^2 :

$$2x_1 + 3x_2 + 2,5x_3 + 2,7x_4 \leq 600 \quad (3.3)$$

Обладнання може використовуватися 80 год. на тиждень.

Запишемо нерівність, яка виражає той факт, що сумарна кількість витрачених годин для виготовлення столів i – го типу, повинна бути не більш ніж 80 год. Оскільки норми задані в хвилинах, то 80 год. переведемо години в хвилини також:

$$12x_1 + 30x_2 + 25x_3 + 20x_4 \leq 4800 \quad (3.4)$$

Маємо систему нерівностей:

$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \leq 350; \\ 2x_1 + 3x_2 + 2,5x_3 + 2,7x_4 \leq 600; \\ 12x_1 + 30x_2 + 25x_3 + 20x_4 \leq 4800 \end{cases} \quad (3.5)$$

При цьому $x_i \geq 0, \quad i = \overline{1,4}$.

Таким чином, побудована математична модель.

Знайти:

$$F(x) = 30x_1 + 40x_2 + 35x_3 + 37x_4 \rightarrow \max$$

за обмежень:

$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \leq 350; \\ 2x_1 + 3x_2 + 2,5x_3 + 2,7x_4 \leq 600; \\ 12x_1 + 30x_2 + 25x_3 + 20x_4 \leq 4800; \\ x_i \geq 0, \quad i = \overline{1,4} \end{cases} \quad (3.6)$$

3.2 Розв'язок задачі в «Розв'язувачі»

Розв'язування даної задачі в надбудові Microsoft Excel «Розв'язувач»:

Заносимо дані задачі в MS Excel на вільний аркуш як це показано на рис. 3.1

	J	K	L	M	N	O
1						
2						
3		a	b	c	d	
4	деревина	2	3	2,5	2,7	600
5	час	12	30	25	20	4800
6	прибуток	30	40	35	37	
7						

Рисунок 3.1 – Дані задачі

Далі резервуємо комірки для x_i і записуємо в них вихідні значення 0 як це показано на рис. 3.2

	A	B	C	D	E
1					
2					
3		x1	x2	x3	x4
4		0	0	0	0
5	f=	0		0	0
6					

Рисунок 3.2 – Вихідні дані

В комірку B5 див. рисунок 3.2 записуємо формулу цільової функції задачі за формулою (3.1) як це показано на рис. 3.3

$$f_x = K6*B4 + L6*C4 + M6*D4 + N6*E4$$

Рисунок 3.3 – Формула цільової функції

Далі в комірку E5 запишемо скільки столів може бути реалізовано за тиждень і в комірку D5 формулу, яка рахує суму всіх вихідних значень для x_i як це показано на рис. 3.4

	A	B	C	D	E
1					
2					
3		x1	x2	x3	x4
4		300	0	0	0
5	f=	9000		300	350
6					

Рисунок 3.4 – Формула суми всіх вихідних значень для x_i

В комірку Р4 запишемо формулу обмеження по деревині за формулою (3.3) як це показано на рис. 3.5

P4		fx =K4*B4+L4*C4+M4*D4+N4*E4					
	J	K	L	M	N	O	P
1							
2							
3		a	b	c	d		
4	деревина	2	3	2,5	2,7	600	600
5	час	12	30	25	20	4800	3600
6	прибуток	30	40	35	37		

Рисунок 3.5 – Обмеження по деревині за формулою (3.3)

Аналогічно для комірки Р5 запишемо формулу обмеження по часу за формулою (3.4) як це показано на рис. 3.6

P5		fx =K5*B4+L5*C4+M5*D4+N5*E4					
	J	K	L	M	N	O	P
1							
2							
3		a	b	c	d		
4	деревина	2	3	2,5	2,7	600	600
5	час	12	30	25	20	4800	3600
6	прибуток	30	40	35	37		

Рисунок 3.6 – Обмеження по часу за формулою (3.4)

Далі вибираємо вкладку «Данные» і в категорії «Анализ» натискаємо на кнопку «Поиск решения» як це показано на рис. 3.7

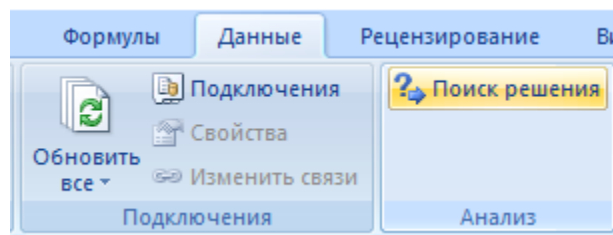


Рисунок 3.7 – кнопка «Поиск решения»

Відкриється вікно як це показано на рис. 3.8. В поле «Установить целевую ячейку:» потрібно ввести адрес комірки, де вказано чому дорівнює f див. рисунок 3.2, отже адрес \$B\$5. Вибрати рядок «максимальному значению». В поле «Изменяя ячейки:» потрібно ввести діапазон вихідних значень для x_i див. рисунок 3.2, отже діапазон \$B\$4:\$E\$4.

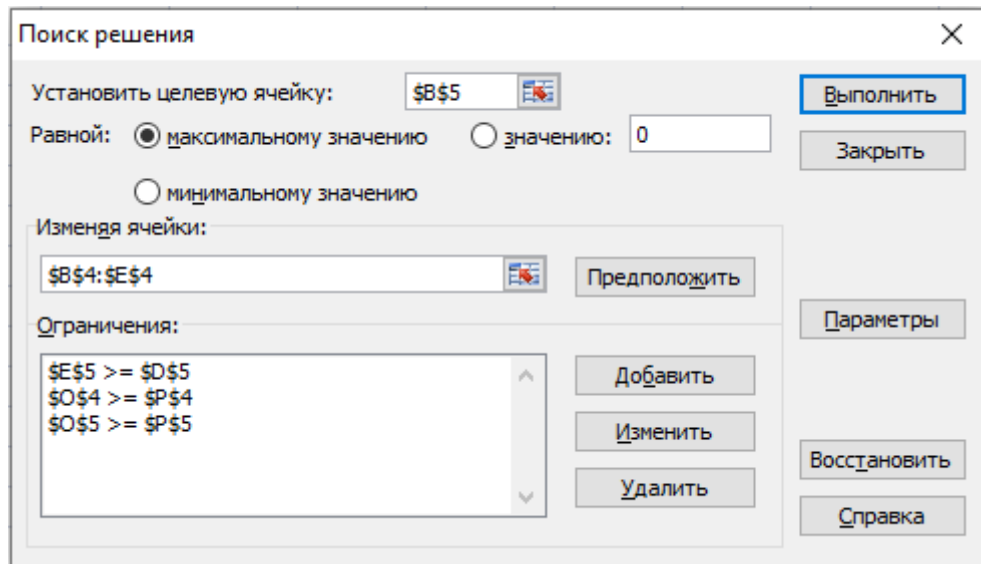


Рисунок 3.8 – «Поиск решения»

Далі нам в поле «Ограничения» див. рисунок 3.8 потрібно внести наступні обмеження: реалізацію столів за тиждень, час та деревину. Для цього потрібно натиснути на кнопку «Добавить» див. рисунок 3.8. У відкритому вікні як це показано на рис. 3.9 в поле «Ссылка на ячейку:» вказати адрес комірки, де вказано скільки столів може бути реалізовано за тиждень див. рисунок 3.4, отже це \$E\$5.

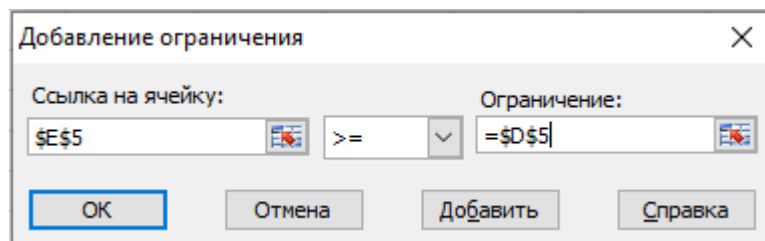


Рисунок 3.9 – Внесення обмеження

Далі в наступному полі вибрати знак, який вказує що поле зліва більше або дорівнює полю що справа, отже це «>=» див. рисунок 3.9. В третьому полі вказати адрес комірки, де вказано суму всіх вихідних значень x_i див. рисунок 3.4, отже це =\$D\$5 див. рисунок 3.9. Потім натиснути кнопку «ОК», щоб додати обмеження див. рисунок 3.9. Аналогічно додати обмеження на час та деревину.

Після внесення всіх обмежень натискаємо на кнопку «Выполнить» див. рисунок 3.8 і бачимо що «Розв’язувач» знайшов найкраще рішення даної задачі як це показано на рис. 3.10

	I13															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2																
3		x1	x2	x3	x4						a	b	c	d		
4		300	0	0	0					деревина	2	3	2,5	2,7	600	600
5	f=	9000		300	350					час	12	30	25	20	4800	3600
6										прибуток	30	40	35	37		
7																

Рисунок 3.10 – Рішення задачі

3.3 Алгоритм роботи тренажера

Використовуються питання з декількома варіантами відповідей, серед яких один або декілька є вірними, що має визначити сам студент. Також для допомоги студенту буде реалізована кнопка підказки.

У випадках, якщо буде вибрано вірну відповідь, тренажер перейде до наступного питання, інакше буде виведено повідомлення про помилку.

Крок 1. На почату роботи тренажера, студенту виводиться на екран данні задачі, за цими даними він повинен провести роботу тренажеру без помилок.

Далі питання: «Що необхідно знайти в даній задачі?»

- а) кількість столів кожного типу виготовлених за тиждень;
- б) кількість столів 2-х різних типів виготовлених за тиждень;
- в) кількість столів будь-якого типу виготовлених за тиждень;
- г) кількість витраченого часу на виготовлення столів за тиждень.

Вірна відповідь – а.

Крок 2. «Що необхідно визначити в результаті розв'язання задачі?»

а) оптимальну, з точки зору мінімізації прибутку, структуру виготовлення письмових столів одного типу.

б) оптимальну, з точки зору мінімізації прибутку, структуру виготовлення письмових столів різних типів.

в) оптимальну, з точки зору максимізації прибутку, структуру виготовлення письмових столів одного типу.

г) оптимальну, з точки зору максимізації прибутку, структуру виготовлення письмових столів різних типів.

Вірна відповідь – г.

Крок 3. «Яке направлення цільової функції для даної задачі?»

а) \max ;

б) \min ;

в) $\min \max$;

г) $\max \min$.

Вірна відповідь – а.

Крок 4. «Що потрібно максимізувати в даній задачі?»

а) прибуток, від реалізації виготовлених столів за тиждень;

б) прибуток, від реалізації виготовлених столів типу А за тиждень;

б) час, відведений на виготовлення столів за тиждень;

в) час, відведений на виготовлення столів типу А за тиждень;

Вірна відповідь – а.

Крок 5. «Скільки типів столів в даній задачі?»

а) 1;

б) 2;

в) 3;

г) 4.

Вірна відповідь – г.

Крок 6. «Які ресурси використовують при виробництві столів?»

а) тільки деревину;

б) тільки час;

- в) тільки деревину і час;
- г) не менше трьох необхідних ресурсів.

Вірна відповідь – в.

Крок 7. «Як розрахувати кількість всієї деревини, що йде на виробництво всіх столів типу А?»

- Введіть, скільки деревини використовується для виготовлення 1 столу типу А.

Вірна відповідь – $2m^2$.

- Як обчислити обсяг деревини (в m^2), що йде на виготовлення всіх столів типу А?

а) помножити кількість деревини, що йде на виготовлення 1 столу, на кількість всіх столів типу А;

б) поділити кількість деревини, що йде на виготовлення 1 столу, на кількість всіх столів типу А;

в) додати кількість деревини, що йде на виготовлення 1 столу, до кількості всіх столів типу А;

г) відняти кількість деревини, що йде на виготовлення 1 столу, від кількості всіх столів типу А;

- Отже, як розрахувати кількість всієї деревини, що йде на виробництво всіх столів типу А?

Вірна відповідь – $2x_1$.

Крок 8. «Як знайти кількість всіх столів?»

а) $x_1x_2 + x_3x_4$;

б) $x_1 + x_2 + x_3 + x_4$;

в) $x_1 + x_2x_3 + x_4$;

г) $x_1x_2x_3x_4$.

Вірна відповідь – б.

- Записати обмеження, на кількість столів, що реалізується за тиждень

Вірна відповідь - $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \leq 350$

Крок 9. «Обчислити кількість деревини (в m^2), що йде на виготовлення всіх столів»

Вірна відповідь - $2x_1 + 3x_2 + 2,5x_3 + 2,7x_4$

- Записати обмеження, на кількість деревини, що може бути використана для виготовлення всіх столів

Вірна відповідь - $2x_1 + 3x_2 + 2,5x_3 + 2,7x_4 \leq 600$

Крок 10. «Як розрахувати кількість всього часу, що йде на виробництво всіх столів типу А?»

- Введіть, скільки часу (хв.) використовується для виготовлення 1 столу типу А.

Вірна відповідь - 12 хв.

- Як обчислити кількість часу (хв), що йде на виготовлення всіх столів типу А?

а) помножити кількість часу, що йде на виготовлення 1 столу, на кількість всіх столів типу А;

б) поділити кількість часу, що йде на виготовлення 1 столу, на кількість всіх столів типу А;

в) додати кількість часу, що йде на виготовлення 1 столу, до кількості всіх столів типу А;

г) відняти кількість часу, що йде на виготовлення 1 столу, від кількості всіх столів типу А;

- Отже, як розрахувати кількість часу, що йде на виробництво всіх столів типу А?

Вірна відповідь - $12x_1$.

Крок 11. «Обчислити кількість часу (хв), що йде на виготовлення всіх столів»

Вірна відповідь - $12x_1 + 30x_2 + 25x_3 + 20x_4$

- Записати обмеження, на кількість деревини, що може бути використана для виготовлення всіх столів

$$\text{Вірна відповідь} - 12x_1 + 30x_2 + 25x_3 + 20x_4 \leq 4800$$

Крок 12. «Як знайти прибуток від реалізації виготовлених столів i -го типу?»

а) прибуток від реалізації одного столу i -го типу поділити на кількість виготовлених столів i -го типу за тиждень.

б) прибуток від реалізації одного столу i -го типу відняти від кількості виготовлених столів i -го типу за тиждень.

в) прибуток від реалізації одного столу i -го типу помножити на кількість виготовлених столів i -го типу за тиждень.

г) прибуток від реалізації одного столу i -го типу додати до кількості виготовлених столів i -го типу за тиждень.

Вірна відповідь – в.

Крок 13. «Отже, нам потрібно максимізувати прибуток всіх виготовлених столів за тиждень. Запишемо цільову функцію для даної задачі:»

$$\text{Вірна відповідь} - F(x) = 30x_1 + 40x_2 + 35x_3 + 37x_4 \rightarrow \max$$

Крок 14. «Скільки обмежень в даній задачі?»

а) 2

б) 3

в) 4

г) 5

Вірна відповідь – б.

Крок 15. Студенту виводиться математична модель задачі. Далі показується, як розв'язувати дану задачу в «Розв'язувачі».

Крок 16. «Резервуємо комірки для вихідних даних як це показано на рис. 3.11:»

	A	B	C	D	E	F
1						
2						
3		x1	x2	x3	x4	
4		0	0	0	0	
5	f=	0		0	350	1
6						
7						

Рисунок 3.11 - Дані цільової функції

Вносимо вихідні дані для всіх значень x_i функції f , спочатку вони рівні 0 див. рисунок 3.11.

1) На місці позначки 1 див. рисунок 3.11 в клітинку вводимо, скільки столів за умовою задачі може бути реалізовано.

2. На місці позначки 2 див. рисунок 3.11 в клітинку вводимо формулу, яка виведе в клітинку суму всіх x_i як це показано на рис. 3.12

D5		fx = =B4+C4+D4+E4				
	A	B	C	D	E	F
1						
2						
3		x1	x2	x3	x4	
4		0	0	0	0	
5	f=	0		0	350	
6						

Рисунок 3.12 - Сума всіх x_i

Крок 17. «Вводимо дані задачі до Ексел як це показано на рис. 3.13».

	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1									
2									
3			a	b	c	d			
4		деревина	2	3	2,5	2,7	600	0	1
5		час	12	30	25	20	4800	0	2
6		прибуток	30	40	35	37			
7									

Рисунок 3.13 - Дані задачі

Справа таблиці в рядку деревини та часу, вводимо обмеження на них.

1) На місці позначки 1 див. рисунок 3.13 в клітинку вводимо формулу, за допомогою якої рахується, скільки деревини підприємство використало за тиждень:»

Вірна відповідь – «=K4*B4+L4*C4+M4*D4+N4*E4»

2) На місці позначки 2 див. рисунок 3.13 в клітинку вводимо формулу, яка порахує скільки хвилин використовувалося обладнання протягом тижня:»

Вірна відповідь – «=K5*B4+L5*C4+M5*D4+N5*E4»

Крок 18. «На місці позначки 3 див. рисунок 3.11 в клітинку вводимо формулу для цільової функції задачі ($F(x) = 30x_1 + 40x_2 + 35x_3 + 37x_4 \rightarrow \max$)»

Вірна відповідь – «=K6*B4+L6*C4+M6*D4+N6*E4»

Крок 19. «Далі запускаємо «Розв'язувач». Вибираємо вкладку «Данные» і в категорії «Анализ» натискаємо на кнопку «Поиск решения»»

- В полі «Установить целевую ячейку:» як це показано на рис. 3.14 вводимо адрес комірки позначеною 3 див. рисунку 3.11

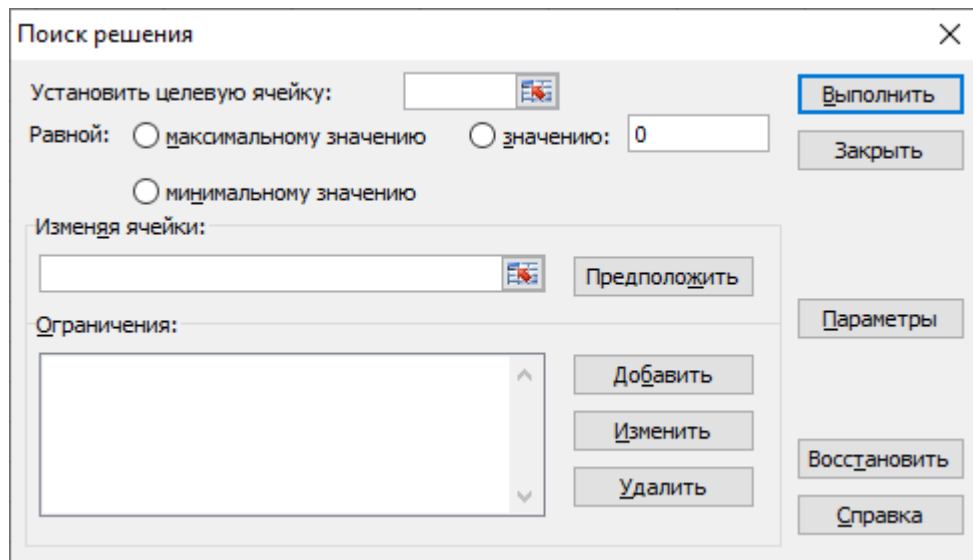


Рисунок 3.14 - Розв'язувач

Вірна відповідь - \$B\$5.

- Далі в «Равной:» вибираємо max («максимальному значенню»).

- В поле «Изменяя ячейки:» вводим диапазон значений x_i , які рівні 0 див. рисунок 3.11

Вірна відповідь - \$B\$4:\$E\$4.

Крок 20. «Далі в поле «Ограничения:» добавляємо обмеження, як це вказано на рис. 3.15

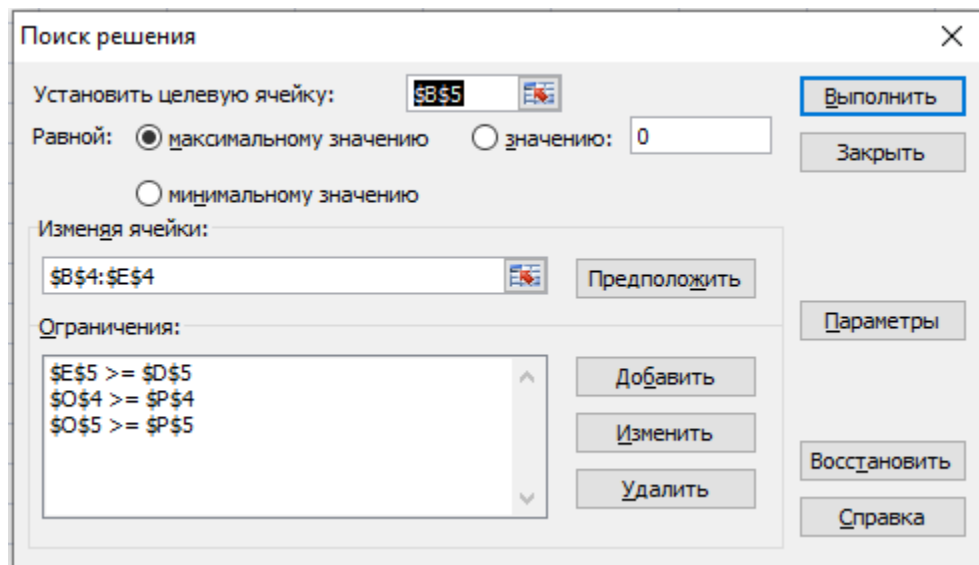


Рисунок 3.15 – Обмеження

Щоб внести обмеження потрібно натиснути на кнопку «Добавить» див. рисунок 3.15. У відкритому вікні див. рисунок 3.9 в поле «Ссылка на ячейку:» вказати адрес комірки, де вказано скільки столів може бути реалізовано за тиждень див. рисунок 3.4.

Далі в наступному полі вибрати знак, який вказує що поле зліва більше або дорівнює полю що справа. В третьому полі вказати адрес комірки, де вказано суму всіх вихідних значень x_i див. рисунок 3.4. Потім натиснути кнопку «ОК», щоб додати обмеження див. рисунок 3.9. Аналогічно додати обмеження на час та деревину.

Після введення всіх обмежень натискаємо кнопку «Выполнить» див. рисунок 3.15 і бачимо що «Розв'язувач» знайшов найкраще рішення даної задачі.

3.4 Блок-схема програми-тренажера

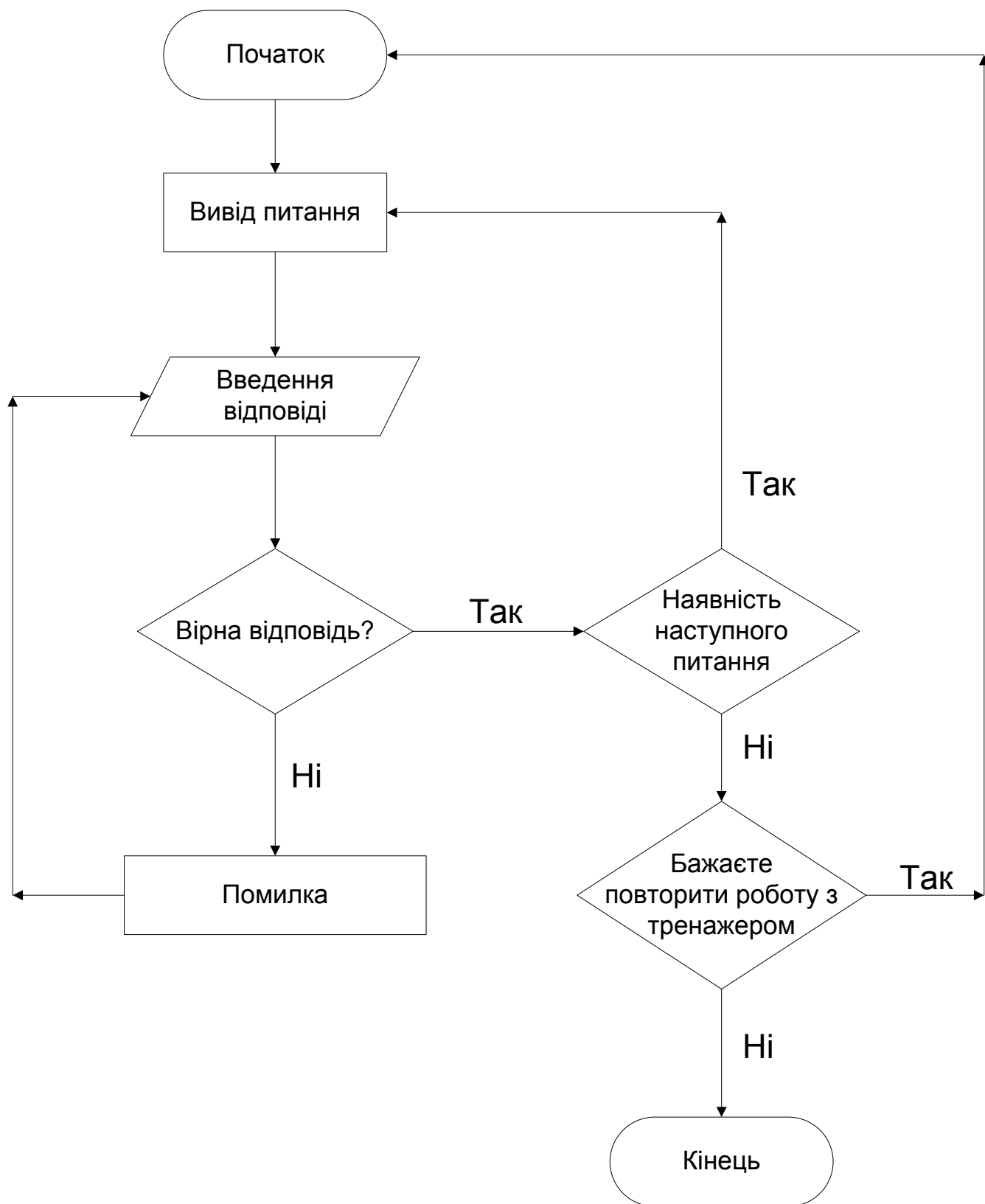


Рисунок 3.16 – Блок-схема програми-тренажера



Рисунок 3.17 – Блок-схема переходу до попередніх питань

4 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

4.1 Текст програми та її опис

```

912     }
913     if (button1.Text == "Почати")
914     {
915         toolStripMenuItem2.Enabled = true;
916         питанняToolStripMenuItem.Enabled = true;
917         підказкаToolStripMenuItem.Enabled = true;
918         number = 1;
919         label1.Visible = false;
920         label2.Visible = false;
921         pictureBox2.Location = new Point(25, 24);
922         label3.Visible = true;
923         label3.Text = "Крок 1. Що необхідно знайти в даній задачі?";
924         this.Text = "Питання (" + number + "/25)";
925         radioButton1.Text = "кількість столів кожного типу виготовлених за тиждень";
926         radioButton2.Text = "кількість столів 2-х різних типів виготовлених за тиждень";
927         radioButton3.Text = "кількість столів будь-якого типу виготовлених за тиждень";
928         radioButton4.Text = "кількість витраченого часу на виготовлення столів за тиждень.";
929         radioButton1.Visible = true;
930         radioButton2.Visible = true;
931         radioButton3.Visible = true;
932         radioButton4.Visible = true;
933         radioButton1.Enabled = true;
934         radioButton2.Enabled = true;
935         radioButton3.Enabled = true;
936         radioButton4.Enabled = true;
937         button2.Visible = false;
938         button1.Text = "Відновісти";
939         button1.BackColor = Color.Chartreuse;
940         button1.ForeColor = Color.White;
941         button1.Enabled = true;
942     }
943 }
944

```

Рисунок 4.1 – Кнопка "Почати"

На рис. 4.1 показано код для кнопки «Почати». Програма включає в себе елемент Label – 5 шт, RadioButton – 7 шт, TextBox – 6 шт, Button – 2 шт, PictureBox – 9 шт, MenuStrip – 1 шт, Form – 2 шт. На рис. 4.2 показано код 2-ої кнопки для повторного проходження тренажера.


```

945 private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
946 {
947     toolStripMenuItem2.Enabled = false;
948     toolStripMenuItem3.Enabled = false;
949     toolStripMenuItem4.Enabled = false;
950     toolStripMenuItem5.Enabled = false;
951     toolStripMenuItem6.Enabled = false;
952     toolStripMenuItem7.Enabled = false;
953     toolStripMenuItem8.Enabled = false;
954     toolStripMenuItem9.Enabled = false;
955     toolStripMenuItem10.Enabled = false;
956     toolStripMenuItem11.Enabled = false;
957     toolStripMenuItem12.Enabled = false;
958     toolStripMenuItem13.Enabled = false;
959     toolStripMenuItem14.Enabled = false;
960     toolStripMenuItem15.Enabled = false;
961     toolStripMenuItem16.Enabled = false;
962     toolStripMenuItem17.Enabled = false;
963     toolStripMenuItem18.Enabled = false;
964     toolStripMenuItem19.Enabled = false;
965     toolStripMenuItem20.Enabled = false;
966     toolStripMenuItem21.Enabled = false;
967     toolStripMenuItem22.Enabled = false;
968     toolStripMenuItem23.Enabled = false;
969     toolStripMenuItem24.Enabled = false;
970     toolStripMenuItem25.Enabled = false;
971     toolStripMenuItem26.Enabled = false;
972     toolStripMenuItem.Enabled = false;
973     підказкаToolStripMenuItem.Enabled = false;
974     pictureBox9.Visible = false;
975     pictureBox2.Location = new Point(25, 289);
976     pictureBox2.Visible = true;
977     label1.Visible = true;
978     label2.Visible = true;
979     label3.Visible = false;
980     button2.Visible = false;
981     button1.Text = "Почати";
982     button1.BackColor = Color.Chartreuse;
983     button1.ForeColor = Color.White;
984     radioButton1.Checked = false;
985     radioButton2.Checked = false;
986     radioButton3.Checked = false;
987     radioButton4.Checked = false;
988     radioButton5.Checked = false;
989     radioButton6.Checked = false;
990     radioButton7.Checked = false;
991     textBox1.Text = "";
992     textBox2.Text = "";
993     textBox3.Text = "";
994     textBox4.Text = "";
995     textBox5.Text = "";
996     textBox6.Text = "";
997 }
998

```

Рисунок 4.2 – кнопка для повторного проходження тренажера

На рис. 4.3 показано код для крока 17-18 (код для інших кроків аналогічний).

```

if (number == 17)
{
    char[] str8 = textBox1.Text.ToCharArray();
    string res8 = "";
    foreach (char s8 in str8)
    {
        if (s8.ToString() != " ")
        {
            res8 += s8.ToString();
        }
    }
    if (res8 == "12x1+30x2+25x3+20x4<=4800")
    {
        toolStripMenuItem19.Enabled = true;
        number = 18;
        this.Text = "Питання (" + number + "/25)";
        label3.Text = "Крок 18. Скільки обмежень в даній задачі?";
        radioButton1.Checked = false;
        radioButton2.Checked = false;
        radioButton3.Checked = false;
        radioButton4.Checked = false;
        radioButton1.Text = "2";
        radioButton2.Text = "3";
        radioButton3.Text = "4";
        radioButton4.Text = "5";
        radioButton1.Visible = true;
        radioButton2.Visible = true;
        radioButton3.Visible = true;
        radioButton4.Visible = true;
        radioButton1.Enabled = true;
        radioButton2.Enabled = true;
        radioButton3.Enabled = true;
        radioButton4.Enabled = true;
        label4.Visible = false;
        label5.Visible = false;
        textBox1.Visible = false;
        textBox2.Visible = false;
        button1.Text = "Відповісти";
        button1.BackColor = Color.Chartreuse;
        button1.ForeColor = Color.White;
        button1.Enabled = true;
        button2.Visible = false;
    }
    else
    {
        MessageBox.Show("Невірна відповідь!");
    }
}

```

Рисунок 4.3 - Крок 17-18

На рис. 4.4 показано частину кода для кнопки «Підказка».

```

999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042

```

ссылка: 1

```

private void підказкаToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (number == 1)
    {
        MessageBox.Show("Вірна відповідь: кількість столів кожного типу виготовлених за тиждень");
    }
    if (number == 2)
    {
        MessageBox.Show("Вірна відповідь: оптимальну, з точки зору максимізації прибутку, структуру");
    }
    if (number == 3)
    {
        MessageBox.Show("Вірна відповідь: max");
    }
    if (number == 4)
    {
        MessageBox.Show("Вірна відповідь: прибуток, від реалізації виготовлених столів за тиждень");
    }
    if (number == 5)
    {
        MessageBox.Show("Вірна відповідь: 4");
    }
    if (number == 6)
    {
        MessageBox.Show("Вірна відповідь: кількість столів типу C виготовлених за тиждень");
    }
    if (number == 7)
    {
        MessageBox.Show("Вірна відповідь: прибуток від реалізації одного столу i-го типу помножити на");
    }
    if (number == 8)
    {
        MessageBox.Show("Вірна відповідь: 30x1 + 40x2 + 35x3 + 37x4 --> max");
    }
    if (number == 9)
    {
        MessageBox.Show("Вірна відповідь: Так");
    }
    if (number == 10)
    {
        MessageBox.Show("Вірна відповідь: 350");
    }
    if (number == 11)
    {

```

Рисунок 4.4 – Кнопка «Підказка»

На рис. 4.5 показано частину кода для кнопки «Інформація про тренажер».

Ссылка: 4

```

public partial class Form1 : Form
{
    int number = 0;

    ссылка: 1
    public Form1()
    {
        InitializeComponent();
    }

    ссылка: 1
    private void інформаціяПроТренажерToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        Form2 Form2 = new Form2();
        Form2.Show();
    }

```

Рисунок 4.5 – Кнопка «Інформація про тренажер»

4.2 Реалізація роботи тренажера

1. Запуск тренажера на рис 4.6

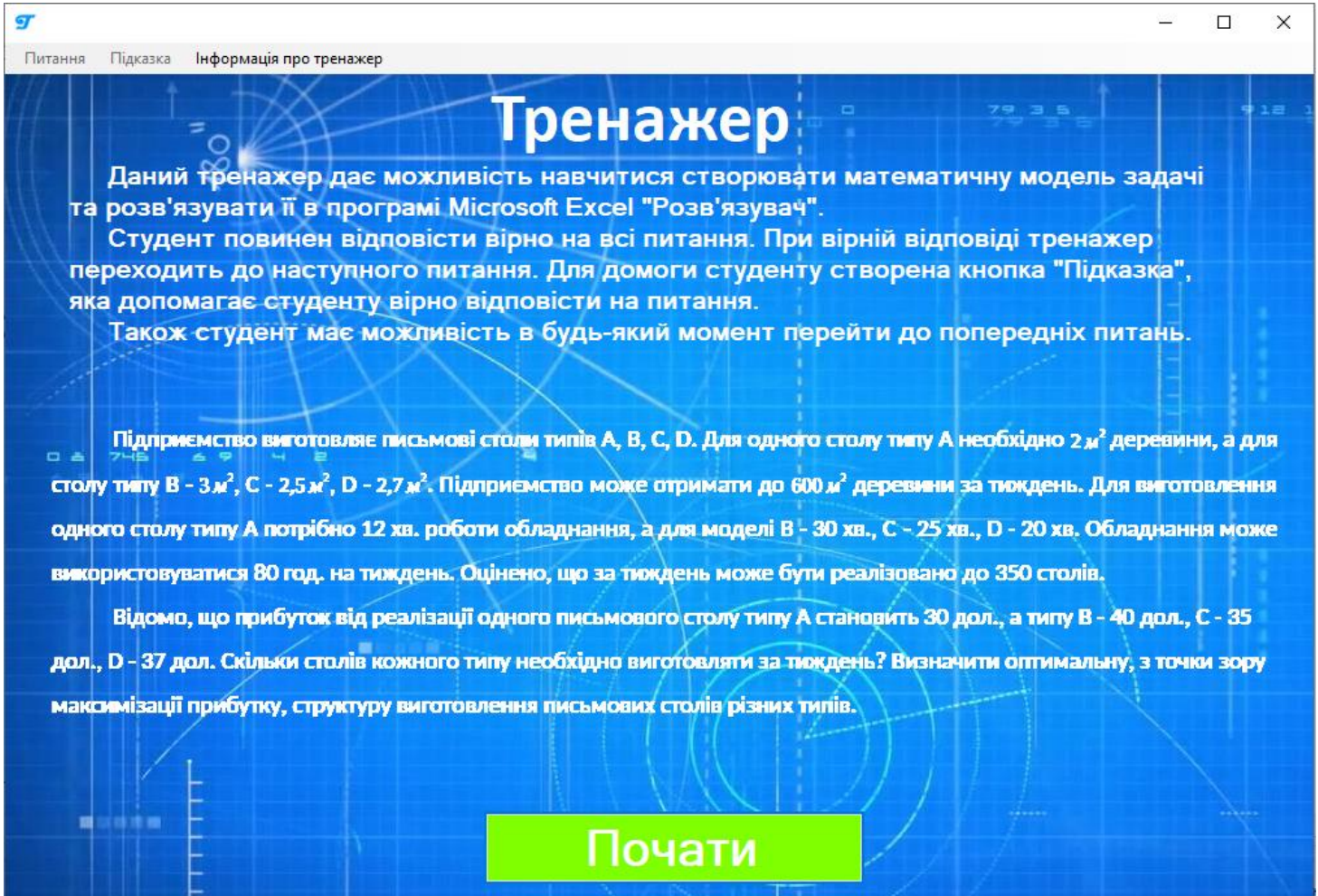


Рисунок 4.6 - Запуск тренажера

2. Перевірка на невірні відповіді на рис. 4.7

Питання (3/25)

Питання Підказка Інформація про тренажер

Підприємство виготовляє письмові столи типів A, B, C, D. Для одного столу типу A необхідно 2 м^2 деревини, а для столу типу B - 3 м^2 , C - $2,5 \text{ м}^2$, D - $2,7 \text{ м}^2$. Підприємство може отримати до 600 м^2 деревини за тиждень. Для виготовлення одного столу типу A потрібно 12 хв. роботи обладнання, а для моделі B - 30 хв., C - 25 хв., D - 20 хв. Обладнання може використовуватися 80 год. на тиждень. Оцінено, що за тиждень може бути реалізовано до 350 столів.

Відомо, що прибуток від реалізації одного письмового столу типу A становить 30 дол., а типу B - 40 дол., C - 35 дол., D - 37 дол. Скільки столів кожного типу необхідно виготовляти за тиждень? Визначити оптимальну, з точки зору максимізації прибутку, структуру виготовлення письмових столів різних типів.

Крок 3. Яке направлення цільової функції задачі?

- ☐ max;
- ☒ min;
- ☐ min max;
- ☐ max min.

Невірна відповідь!

OK

Відповісти

Рисунок 4.7 – Перевірка на помилку

3. Перевірка підказки студенту на рис 4.8

Питання (6/25)

Питання Підказка Інформація про тренажер

Підприємство виготовляє письмові столи типів A, B, C, D. Для одного столу типу A необхідно 2 м^2 деревини, а для столу типу B - 3 м^2 , C - $2,5\text{ м}^2$, D - $2,7\text{ м}^2$. Підприємство може отримати до 600 м^2 деревини за тиждень. Для виготовлення одного столу типу A потрібно 12 хв. роботи обладнання, а для моделі B - 30 хв., C - 25 хв., D - 20 хв. Обладнання може використовуватися 80 год. на тиждень. Оцінено, що за тиждень може бути реалізовано до 350 столів.

Відомо, що прибуток від реалізації одного письмового столу типу A становить 30 дол., а типу B - 40 дол., C - 35 дол., D - 37 дол. Скільки столів кожного типу необхідно виготовляти за тиждень? Визначити оптимальну, з точки зору максимізації прибутку, структуру виготовлення письмових столів різних типів.

Крок 6. Введемо змінну x_i . Де x - це кількість столів i -го типу виготовлених за тиждень. Що означає x_3 ?

- кількість столів типу A виготовлених за тиждень;
- кількість столів типу B виготовлених за тиждень;
- кількість столів типу C виготовлених за тиждень;
- кількість столів типу D виготовлених за тиждень.

Відповісти

Вірна відповідь: кількість столів типу C виготовлених за тиждень

OK

Рисунок 4.8 – Кнопка «Підказка»

4. Перехід до попередніх питань на рис. 4.9

Питання (2/25)

Питання Підказка Інформація про тренажер

Підприємство виготовляє письмові столи типів А, В, С, D. Для одного столу типу А необхідно 2 м^2 деревини, а для столу типу В - 3 м^2 , С - $2,5 \text{ м}^2$, D - $2,7 \text{ м}^2$. Підприємство може отримати до 600 м^2 деревини за тиждень. Для виготовлення одного столу типу А потрібно 12 хв. роботи обладнання, а для моделі В - 30 хв., С - 25 хв., D - 20 хв. Обладнання може використовуватися 80 год. на тиждень. Оцінено, що за тиждень може бути реалізовано до 350 столів.

Відомо, що прибуток від реалізації одного письмового столу типу А становить 30 дол., а типу В - 40 дол., С - 35 дол., D - 37 дол. Скільки столів кожного типу необхідно виготовляти за тиждень? Визначити оптимальну, з точки зору максимізації прибутку, структуру виготовлення письмових столів різних типів.

Крок 2. Що необхідно визначити в результаті розв'язання задачі?

- оптимальну, з точки зору мінімізації прибутку, структуру виготовлення письмових столів одного типу.
- оптимальну, з точки зору мінімізації прибутку, структуру виготовлення письмових столів різних типів.
- оптимальну, з точки зору максимізації прибутку, структуру виготовлення письмових столів одного типу.
- оптимальну, з точки зору максимізації прибутку, структуру виготовлення письмових столів різних типів.

Відповісти

Рисунок 4.9 – Перехід до попереднього питання

5. Завершення роботи тренажера на рис. 4.10

Питання (25/25)

Питання Підказка Інформація про тренажер

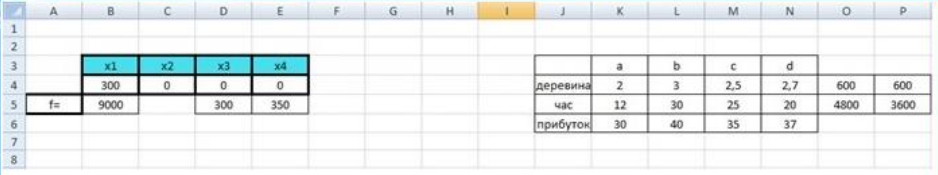


Рисунок 7

Крок 25. Виведення результату «Розв'язувача» (див. рисунок 7)

Отже, максимальний прибуток, від реалізації виготовлених столів за тиждень становить 9000

Потрібно виготовити столів типу А - 300, типу В - 0, типу С - 0, типу D - 0.

ПОВТОРИТИ

ЗАВЕРШИТИ

Рисунок 4.10 – Завершення роботи тренажера

4.3 Перевірка валідності (тестування всіх процедур). Дослідження можливостей програмної реалізації

Запуск тренажера відбувається без помилок див. рисунок 4.6. При запуску на першому вікні кнопки «Питання» та «Підказка» є неактивними, так як користувач ще не почав роботу тренажера.

При натисненні на кнопку «Почати» відкривається перше питання як це показано на рис. 4.11

Питання (1/25)

Питання Підказка Інформація про тренажер

Підприємство виготовляє письмові столи типів А, В, С, D. Для одного столу типу А необхідно 2 м^2 деревини, а для столу типу В - 3 м^2 , С - $2,5 \text{ м}^2$, D - $2,7 \text{ м}^2$. Підприємство може отримати до 600 м^2 деревини за тиждень. Для виготовлення одного столу типу А потрібно 12 хв. роботи обладнання, а для моделі В - 30 хв., С - 25 хв., D - 20 хв. Обладнання може використовуватися 80 год. на тиждень. Оцінено, що за тиждень може бути реалізовано до 350 столів.

Відомо, що прибуток від реалізації одного письмового столу типу А становить 30 дол., а типу В - 40 дол., С - 35 дол., D - 37 дол. Скільки столів кожного типу необхідно виготовляти за тиждень? Визначити оптимальну, з точки зору максимізації прибутку, структуру виготовлення письмових столів різних типів.

Крок 1. Що необхідно знайти в даній задачі?

- кількість столів кожного типу виготовлених за тиждень;
- кількість столів 2-х різних типів виготовлених за тиждень;
- кількість столів будь-якого типу виготовлених за тиждень;
- кількість витраченого часу на виготовлення столів за тиждень.

Відповісти

Рисунок 4.11 – Перше питання тренажера

Находячись на будь-якому питанні (в даному випадку на 4) для переходу до попередніх питань при натисненні на кнопку «Питання» відкривається список питань з яких попередні є активними як це показано на рис. 4.12

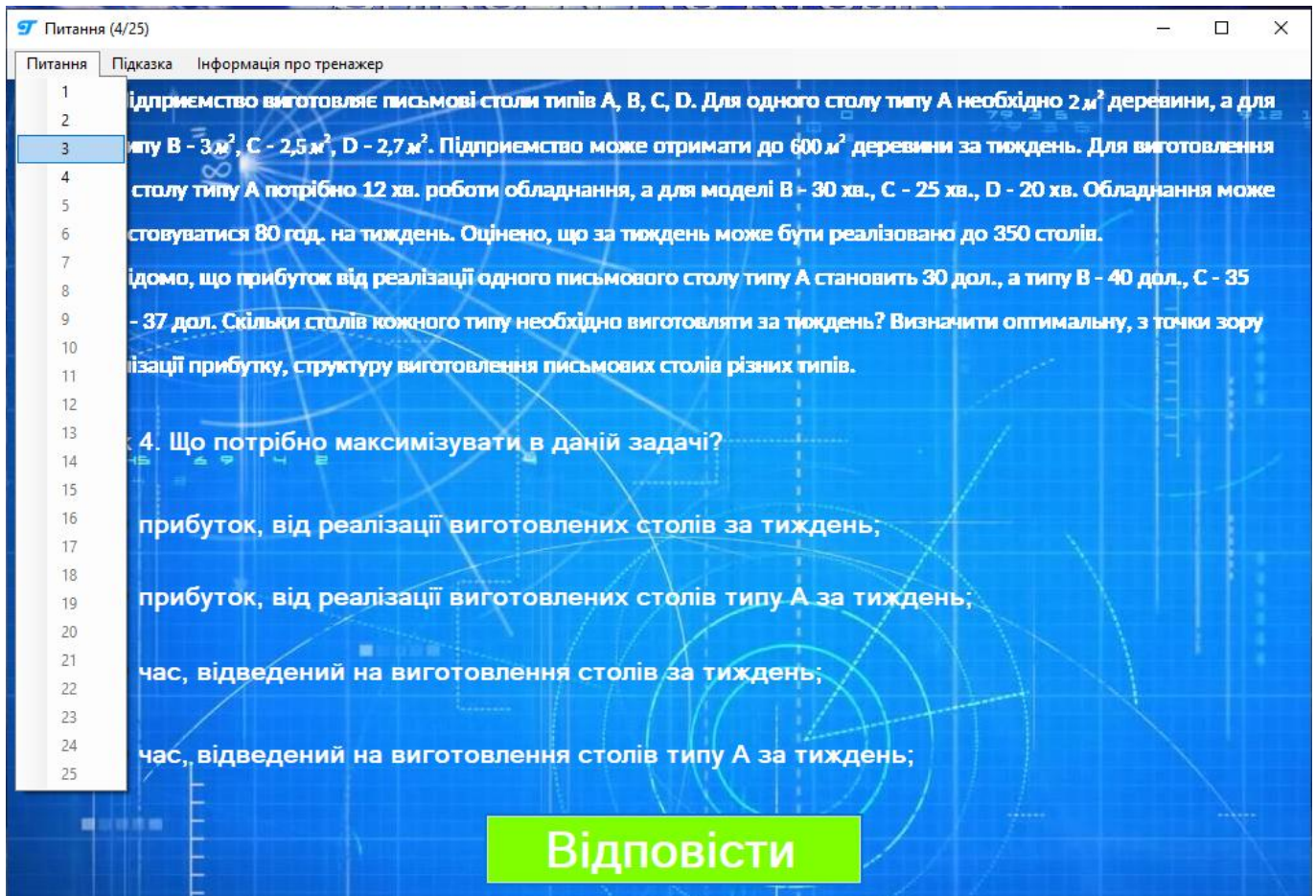


Рисунок 4.12 – Кнопка «Питання»

Наступні питання від поточного (в даному випадку 4) є неактивними і перейти на них неможливо як це показано на рис. 4.13

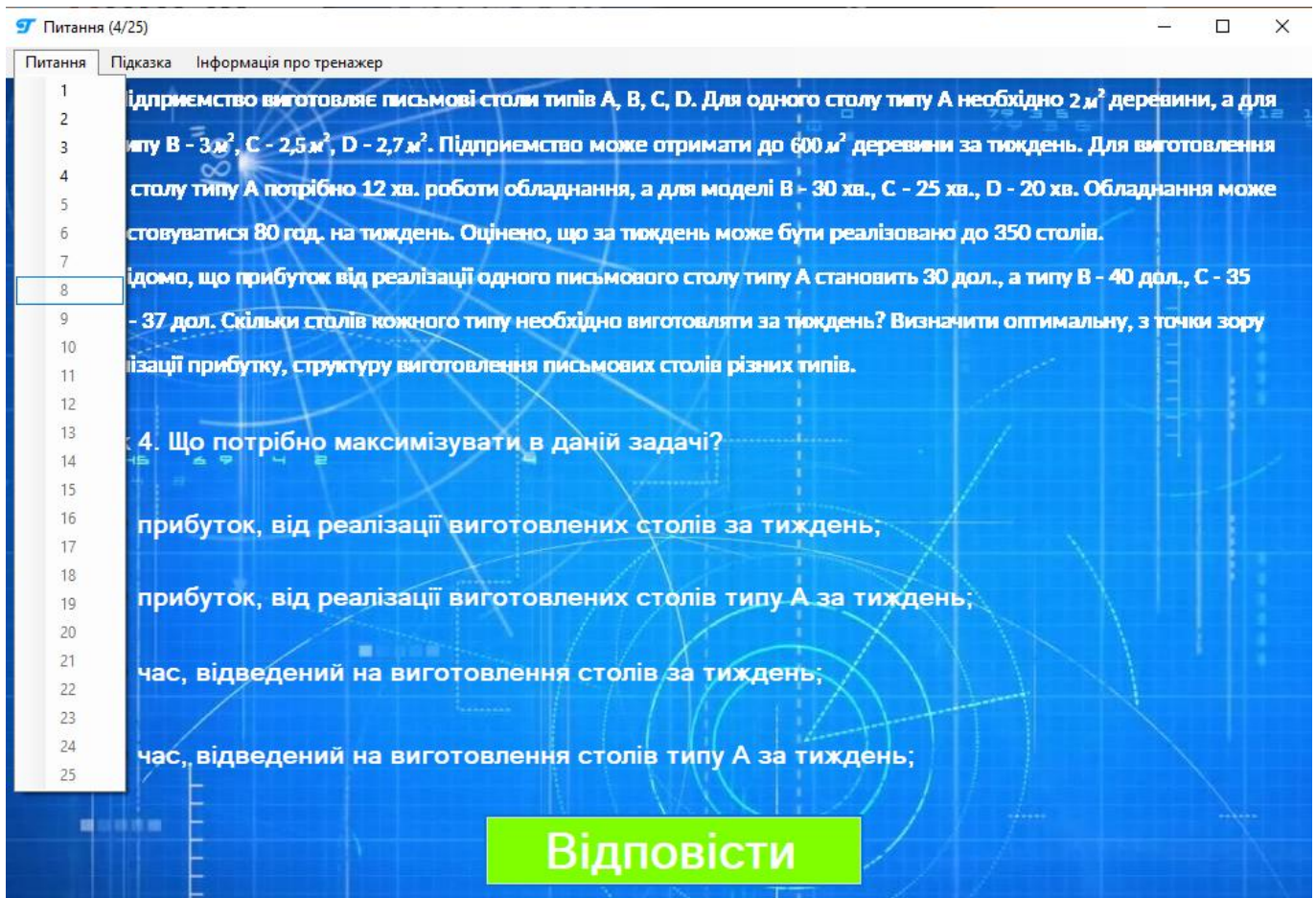


Рисунок 4.13 – Вибір наступних питань

При натисненні на кнопку «Інформація про тренажер» відкривається вікно з інформацією як це показано на рис. 4.14

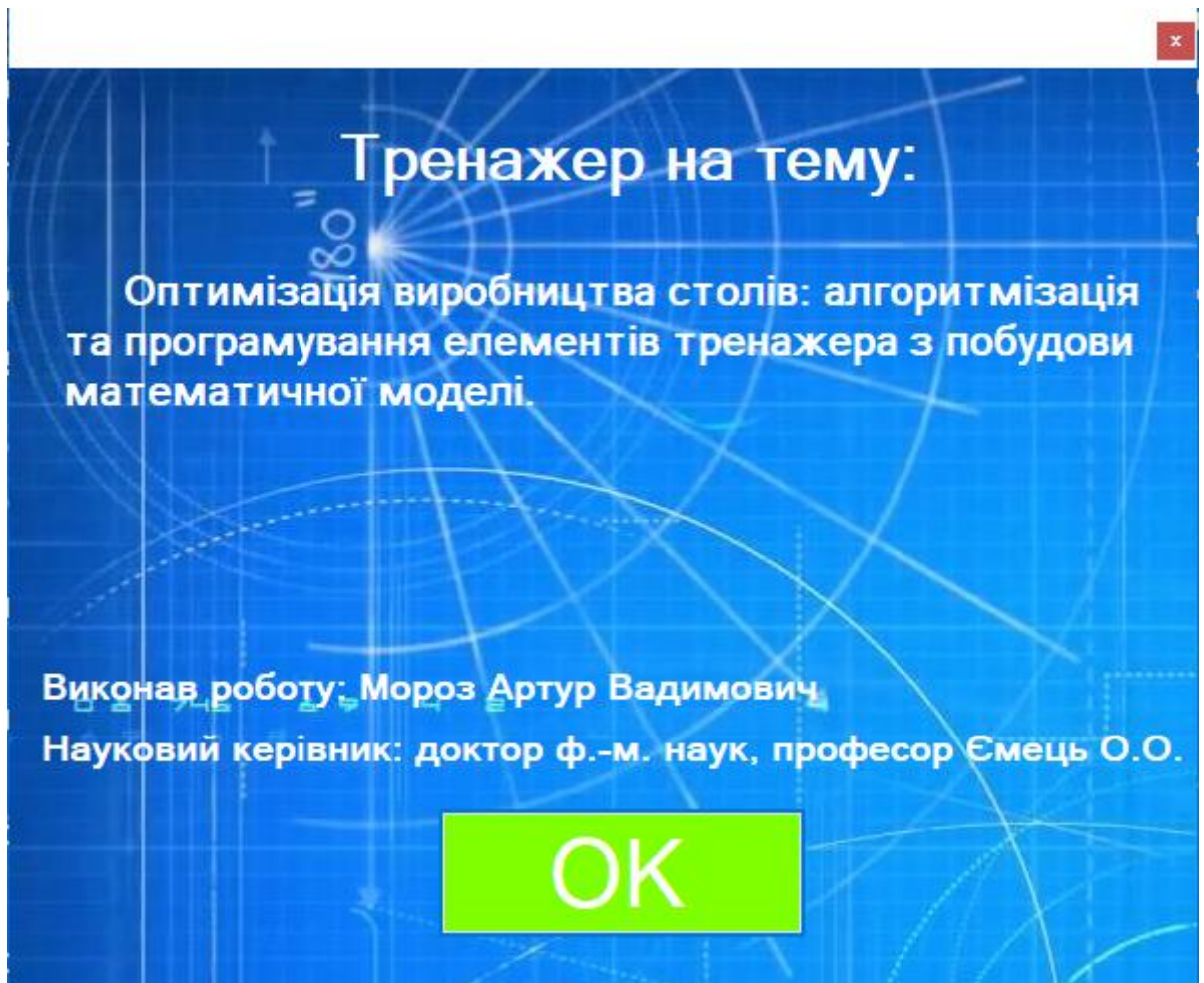


Рисунок 4.14 – Вікно «Інформація про тренажер»

Коли користувач дійшов до першого питання на яке потрібно відповідати введення з клавіатури з'являється нагадування з прохання вибрати англійську розкладку клавіатури як це показано на рис. 4.15

Питання (8/25) Питання Підказка Інформація про тренажер

Підприємство виготовляє письмові столи типів A, B, C, D. Для одного столу типу A необхідно 2 м^2 деревини, а для столу типу B - 3 м^2 , C - $2,5 \text{ м}^2$, D - $2,7 \text{ м}^2$. Підприємство може отримати до 600 м^2 деревини за тиждень. Для виготовлення одного столу типу A потрібно 12 хв. роботи обладнання, а для моделі B - 30 хв., C - 25 хв., D - 20 хв. Обладнання може використовуватися 80 год. на тиждень. Оцінено, що за тиждень може бути реалізовано до 350 столів.

Відомо, що прибуток від реалізації одного письмового столу типу A становить 30 дол., а типу B - 40 дол., C - 35 дол., D - 37 дол. Скільки столів кожного типу необхідно виготовляти за тиждень? Визначити оптимальну, з точки зору максимізації прибутку, структуру виготовлення письмових столів різних типів.

Крок 8. Отже, нам потрібно максимізувати прибуток всіх виготовлених столів за тиждень. Запишемо цільову функцію для даної задачі:

$F(x) =$

Для введення тексту в рядок, будь-ласка виберіть англійську мову!

OK

Відповісти

Рисунок 4.15 – Нагадування

При переході на попереднє питання вибір відповіді або її введення, кнопки «Підказка» та «Відповісти» стає неактивними як це показано на рис. 4.16

Питання (2/25) Підказка Інформація про тренажер

Підприємство виготовляє письмові столи типів А, В, С, D. Для одного столу типу А необхідно 2 м^2 деревини, а для столу типу В - 3 м^2 , С - $2,5 \text{ м}^2$, D - $2,7 \text{ м}^2$. Підприємство може отримати до 600 м^2 деревини за тиждень. Для виготовлення одного столу типу А потрібно 12 хв. роботи обладнання, а для моделі В - 30 хв., С - 25 хв., D - 20 хв. Обладнання може використовуватися 80 год. на тиждень. Оцінено, що за тиждень може бути реалізовано до 350 столів.

Відомо, що прибуток від реалізації одного письмового столу типу А становить 30 дол., а типу В - 40 дол., С - 35 дол., D - 37 дол. Скільки столів кожного типу необхідно виготовляти за тиждень? Визначити оптимальну, з точки зору максимізації прибутку, структуру виготовлення письмових столів різних типів.

Крок 2. Що необхідно визначити в результаті розв'язання задачі?

- оптимальну, з точки зору мінімізації прибутку, структуру виготовлення письмових столів одного типу.
- оптимальну, з точки зору мінімізації прибутку, структуру виготовлення письмових столів різних типів.
- оптимальну, з точки зору максимізації прибутку, структуру виготовлення письмових столів одного типу.
- оптимальну, з точки зору максимізації прибутку, структуру виготовлення письмових столів різних типів.

Відповісти

Рисунок 4.16 – Попереднє питання

При виведенні питання на яке не потрібно давати відповідь замість кнопки «Відповісти» з'являється кнопка «Далі» як це показано на рис. 4.17

Питання (19/25)

Питання Підказка Інформація про тренажер

$$F(x) = 30x_1 + 40x_2 + 35x_3 + 37x_4 \rightarrow \max$$
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \leq 350; \\ 2x_1 + 3x_2 + 2,5x_3 + 2,7x_4 \leq 600; \\ 12x_1 + 30x_2 + 25x_3 + 20x_4 \leq 4800; \end{cases}$$
$$x_i \geq 0, \quad i = \overline{1,4}$$

Крок 19. Ви склали математичну модель задачі. Натисніть кнопку далі, що б почати навчатися розв'язувати математичну модель задачі в «Розв'язувачі»

Далі

Рисунок 4.17 – Питання без відповіді

ВИСНОВКИ

Тренажер, створений на основі сучасних комп'ютерних технологій, він навчає студентів створювати математичну модель в задачах оптимізації (на конкретній задачі максимізації).

Під час виконання бакалаврської роботи було розроблено тренажер з теми «Оптимізація виробництва столів: програмна реалізація тренажера (моделювання) дистанційного курсу «Проектне навчання з курсу «Методи оптимізації та дослідження операцій»»».

Результатами бакалаврської роботи є:

- 1) Обрано середовище програмування - Microsoft Visual Studio та обрана мова програмування – C++.
- 2) Розроблено алгоритм (20 кроків) тренажера з теми «Оптимізація виробництва столів: програмна реалізація тренажера (моделювання) дистанційного курсу «Проектне навчання з курсу «Методи оптимізації та дослідження операцій»».
- 3) Складено блок-схеми до алгоритму з врахуванням всіх можливих варіантів роботи.
- 4) Програмно реалізовано програму-тренажер у середовищі програмування Microsoft Visual Studio, з використанням мови програмування C++.
- 5) Виконана перевірка валідності (тестування всіх процедур) програми. Помилки в роботі тренажера не знайдено

Позитивними аспектами розробленого продукту є:

1. Сучасний дизайн та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс тренажера.
2. При кожному виборі варіанта відповіді користувачу передбачена перевірка даних та, в разі невірності відповіді, показується повідомлення: «Невірна відповідь».

Мета та завдання бакалаврської роботи виконано, створено тренажер, який навчає студентів складати математичну модель задачі і знаходити рішення за допомогою прикладного пакету програм MS Office – MS Excel.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ємець Олег Олексійович. Методи оптимізації та дослідження операцій (Частина 1) 2018-2019 н.р. [Електронний ресурс]: для студентів спеціальності 122 – «Комп’ютерні науки та інформаційні технології» / О.О. Ємець // Дистанційний курс Полтавського університету економіки та торгівлі. – Полтава: ПУЕТ. – 247 с. - ISBN 978-966-184-339-3 (серія).
2. Ємець Олег Олексійович. Методи оптимізації та дослідження операцій: навчально-методичний посібник [Електронний ресурс]/ О.О. Ємець, Т.О. Парфьонова – Полтава: ПУЕТ, 2013.
3. Акулич И. Л. Математическое программирование в примерах и задачах / И.Л. Акулич. – М.: Высш. шк., 1986. – 319 с.
4. Ермольев Ю.М. Математические методы исследования операций / Ю.М. Ермольев, И.И. Ляшко, В.С. Михалевич, В.И. Тюптя – Киев: Вища шк., 1979. – 312 с.
5. Кривошей О.С. Оптимізація перевезень сільгосппродукції: програмна реалізація тренажера (моделювання та розв’язування) дистанційного курсу «Проектне навчання з дисципліни «Методи оптимізації та дослідження операцій» / О.С. Кривошей, О.О. Ємець. – Полтава: ПУЕТ, 2019 р.
6. Белінська В. В. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ МЕТОДУ ПОТЕНЦІАЛІВ ЛІНІЙНОЇ ЗАДАЧІ ПРО ОПТИМАЛЬНИЙ ПОТІК З ДИСЦИПЛІНИ «МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙ» / В.В. Белінська, О.О. Ємець. – Полтава: ПУЕТ, 2019 р.